

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
"ВОПРОСЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ"

№ 4(80), 2014

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

- Оленин М. И., Горынин В. И., Марголин Б. З., Федосеев М. Л. *Стабилизация структуры как фактор повышения сопротивляемости хрупкому разрушению реакторной стали марки 15Х2МФА* 5
- Карзов Г. П., Быковский Н. Г., Ованесьян К. К., Оленин М. И., Калиничева Н. В., Васильева Н. А. *Материаловедческие аспекты освоения производства изделий атомной техники из стали марки 09Г2СА-А* 13
- Душин Ю. А., Орыщенко А. С., Красильников А. З., Петров С. Н., Яковлев С. П. *Эквивалентные режимы науглероживания материалов* 26
- Шаболдо О. П. *Влияние механико-термической обработки на структуру и механические свойства проволоки из титанового β -сплава ТС6* 45
- Шаболдо О. П., Мазуров С. А., Тихонова А. М., Филиппова Н. А. *Термомеханическая обработка холоднокатаных листов из титанового β -сплава марки ТС6* 51
- Рябов Д. К., Колобнев Н. И., Махсидов В. В., Укусников А. Н. *Изменение тонкой структуры и механических свойств листов алюминиевого сплава системы Al-Mg-Si-Cu при термомеханической обработке* 61
- Потехин Б. А., Христолюбов А. С., Жилияков А. Ю. *Структурные особенности наплавленных композитных бронз типа БрЖНКА18-8-2-1* 67
- Сенникова Л. Ф., Давиденко А. А., Спусканюк В. З., Бурховецкий В. В., Слива К. И., Закорецкая Т. А. *Поврежденность медной проволоки под воздействием больших пластических деформаций* 73
- Пугачева Н. Б., Задворкин С. М., Лебедь А. В., Горулева Л. С. *Исследование влияния структурных составляющих на электромагнитные свойства латуни ЛМцАЖН* 79
- Лейман В. И., Валов П. М., Максимов В. М., Ашкалуни А. Л. *Неизотермический процесс образования новой фазы в модельном твердом растворе* 88

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Седлецкий Р. В. *Особенности связи прочность – водостойкость и аномалии кинетики массопереноса полярных жидкостей при изменении их температуры, давления и pH в конструкционных полиэфирных сферопластиках* 96
- Седлецкий Р. В., Поздняков А. О. *Разработка режимов внутриобъемной хемосорбционной защиты от водопоглощения высоконаполненных конструкционных полимерных материалов с применением методов кинетической масс-спектрометрии* 115
- Анисимов А. В., Михайлова М. А., Степанова И. П., Уварова Е. А. *Влияние модификации эпоксидного олигомера перфторполиэфирными жидкостями на свойства необрастающих покрытий* 129

СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

- Орыщенко А. С., Карзов Г. П., Галяткин С. Н., Михалёва Э. И., Ворона Р. А. *Совершенствование сварочных материалов и технологии сварки кольцевых швов корпусов атомных реакторов типа ВВЭР из стали 15Х2МФА-А* 135
- Тимофеев М. Н., Галяткин С. Н., Михалёва Э. И. *Исследование свойств металла шва, выполненного с использованием высокоосновного агломерированного флюса, применительно к сварке корпусов водо-водяных атомных реакторов* 148

Леонов В. П., Михайлов В. И., Сахаров И. Ю. *Сварка и надежность титановых морских конструкций*..... 156

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ
МАТЕРИАЛОВ**

Карзов Г. П., Марголин Б. З. *Механизмы разрушения конструкционных материалов и оценка прочности и работоспособности оборудования АЭС с реакторами различного типа* 162

Данилов Г. И., Ильин А. В., Калинин Г. Ю., Федорова Т. А. *Исследование долговечности сталей аустенитного класса различного уровня прочности при малоцикловом нагружении* 195

Пугачева Н. Б., Трушина Е. Б., Антенорова Н. П., Пугачева Е. И. *Исследование характера и причин разрушения при эксплуатации цементованных ведущей и ведомой конических шестерен из стали 12Х2Н4А*..... 201

Рефераты публикуемых статей 211

Авторский указатель..... 223

Перечень статей, опубликованных в научно-техническом журнале «Вопросы материаловедения» в 2014 году 225

Научно-технический журнал «Вопросы материаловедения». Оформление статей. Правила для авторов 229

РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКУЕМЫХ СТАТЕЙ

УДК 669.15–194:539.422.22

Стабилизация структуры как фактор повышения сопротивляемости хрупкому разрушению реакторной стали марки 15X2МФА. Оленин М. И., Горынин В. И., Марголин Б. З., Федосеев М. Л. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 5–12.

Изучено влияние температурно-временных параметров старения феррита на сопротивляемость хрупкому разрушению и механические свойства реакторной стали марки 15X2МФА на образцах, вырезанных со стороны внутренней поверхности и центральной части поковки толщиной 380 мм. Показано, что перестаривание ферритной фазы после термического улучшения и последующая коагуляция цементита сдвигает температуру вязкохрупкого перехода в область отрицательных температур, обеспечивая повышение сопротивляемости хрупкому разрушению.

Ключевые слова: реакторная сталь 15X2МФА, параметры старения феррита, сопротивляемость хрупкому разрушению, стабилизация структуры.

УДК 669.15–194:621.039.53

Материаловедческие аспекты освоения производства изделий атомной техники из стали марки 09Г2СА-А. Карзов Г. П., Быковский Н. П., Ованесьян К. К., Оленин М. И., Калинин Н. В., Васильева Н. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 13–25.

Рассматриваются пути совершенствования стали марки 09Г2СА-А и ее сварных соединений для обеспечения хладостойкости конструкций контейнеров для отработавшего ядерного топлива, вопросы изготовления и сварки крупногабаритных поволоков в Российской Федерации и за рубежом для подогревателей высокого давления АЭС, а также перспективное направление применения этой стали в качестве облицовки корпуса реакторной установки БРЕСТ-ОД-300 со свинцовым теплоносителем.

Ключевые слова: сталь 09Г2СА-А, контейнеры для отработавшего ядерного топлива, крупногабаритные поковки, перспективы применения.

УДК 621.785.51:536.24.021

Эквивалентные режимы науглероживания материалов. Душин Ю. А., Орыщенко А. С., Красильников А. З., Петров С. Н., Яковлев С. П. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 26–44.

Науглероживание рассматривается как результат одновременных процессов диффузии углерода и его реакции с наиболее активным легирующим элементом сплава. Необходимые параметры сгруппированы в критерии подобия V_i , F_0 и диффузионно-кинетический критерий h . Численные решения воплощаются в карты подобия. Благодаря сочетанию методов подобия и численных решений удается описать влияние углеродсодержащей среды на состав сплава. Необходимая экспериментальная константа – коэффициент насыщения β определена для восьми деформированных и литых материалов. Даны примеры с расчетом длительных процессов и моделированием рабочих условий в режиме ускоренных испытаний.

Ключевые слова: критерии подобия, науглероживание, пиролиз, моделирование, хромоникелевые стали, карбиды.

УДК 669.295:621.778

Влияние механико-термической обработки на структуру и механические свойства проволоки из титанового β -сплава ТС6. Шаболдо О. П. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 45–50.

Исследована схема механико-термической обработки титанового β -сплава ТС6 в полигонизованном состоянии с использованием холодного волочения, скоростного нагрева и старения.

Ключевые слова: титановый β -сплав, холодное волочение, термическая обработка, механические свойства.

УДК 669.295:621.789:621.771.23

Термомеханическая обработка холоднокатаных листов из титанового β -сплава марки ТС6. Шаболдо О. П., Мазуров С. А., Тихонова А. М., Филиппова Н. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 51–60.

Рассмотрена кинетика старения сплава ТС6 в деформированном и отожженном в вакууме состояниях. В результате старения рекристаллизованного ТС6 в приграничных зонах формируются области, свободные от выделения α -фазы. При термоупрочнении сплава ТС6 целесообразно применять схему старения в полигонизованном состоянии.

Ключевые слова: титановый β -сплав, кинетика старения, холоднокатаные листы, термомеханическая обработка.

УДК 669.715:621.789

Изменение тонкой структуры и механических свойств листов алюминиевого сплава системы Al–Mg–Si–Cu при термомеханической обработке. Рябов Д. К., Колобнев Н. И., Махсидов В. В., Уксусников А. Н. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 61–66.

Алюминиевые сплавы системы Al–Mg–Si–Cu отличаются хорошей коррозионной стойкостью, высокими механическими свойствами и технологичностью при производстве, что позволяет их широко использовать в изделиях народного хозяйства и автомобилестроении. С целью повышения механических характеристик полуфабрикатов при сохранении высокого уровня коррозионной стойкости применяют термомеханическую обработку, заключающуюся в деформации материала в процессе упрочняющей термической обработки.

Исследован алюминиевый сплав 1370, выбраны режимы низкотемпературной термомеханической обработки (НТМО): различные виды деформации (прокатка, растяжение) между ступенями искусственного старения. Приведены данные по исследованию механических свойств листов, а также исследования тонкой структуры на просвечивающем электронном микроскопе

Ключевые слова: сплав 1370, Al–Mg–Si–Cu, НТМО, механические свойства, ПЭМ.

УДК 669.35:621.791.92

Структурные особенности наплавленных композитных бронз типа БрЖНКА18-8-2-1. Потехин Б. А., Христолюбов А. С., Жилияков А. Ю. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 67–72.

Исследованы морфологические особенности наплавленных композитных бронз типа БрЖНКА18-8-2-1, химический состав структурных составляющих и его изменение при тепловых обработках.

Ключевые слова: бронза, сталь, дендрит, диффузия, наплавка.

УДК 669.35.621.778:539.3

Поврежденность медной проволоки под воздействием больших пластических деформаций. Сенникова Л. Ф., Давиденко А. А., Спусканюк В. З., Бурховецкий В. В., Слива К. И., Закорецкая Т. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 73–78.

С помощью растровой электронной микроскопии исследована поврежденность тонкой медной проволоки марок М06 (99,99 %) и FRTP (99,95 %) диаметром 0,5 мм в результате обработки по разным схемам интенсивной пластической деформации (ИПД).

Проведен сравнительный анализ дефектности (микropoppy, микротрещины) меди после монотонной (гидроэкструзия + волочение) и немонотонной (гидроэкструзия + угловая гидроэкструзия + волочение) деформации. Показано, что при использовании в схеме деформации

угловой гидроэкструзии (УГЭ) общее количество микропор уменьшается по сравнению с монотонной деформацией.

Сделано предположение, что для меди марки F RTP наличие в образце более крупных пор, при использовании УГЭ, может быть одной из причин низкой пластичности материала при температурах ~4,2 К.

Ключевые слова: поврежденность, микропоры, тонкая проволока, деформация, угловая гидроэкструзия, температура.

УДК 669.35'5:537.811

Исследование влияния структурных составляющих на электромагнитные свойства латуни ЛМЦАЖН. Пугачева Н. Б., Задворкин С. М., Лебедь А. В., Горулева Л. С. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 79–87.

По результатам исследования причин растрескивания латунных заготовок показано, что ведущую роль в сохранении их целостности играет пластичная α -фаза, обеспечивающая релаксацию внутренних напряжений. Определено влияние структурных составляющих в латуни марки ЛМЦАЖН на электромагнитные свойства: зависимость удельного электрического сопротивления от содержания β -фазы и магнитной проницаемости от содержания силицидов (Fe, Mn, Ni)₅Si₃, что позволило рекомендовать эти параметры в качестве основных для неразрушающего контроля количества фаз в латунных заготовках.

Ключевые слова: легированная латунь, микроструктура, удельное электрическое сопротивление, магнитная проницаемость, рентгеноструктурный анализ.

УДК 666.266.6:539.213.2

Неизотермический процесс образования новой фазы в модельном твердом растворе. Лейман В. И., Валов П. М., Максимов В. М., Ашкалуни А. Л. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 88–95.

Методом оптической спектроскопии изучены процессы нуклеации в модельном твердом растворе CuCl в стекле при положительном и отрицательном скачках температуры и при ее непрерывном уменьшении. Были определены концентрация новой фазы (нанокристаллы CuCl), средний радиус, концентрация частиц, а также распределение частиц по размерам. Обнаружены два эффекта: растворение наночастиц новой фазы при положительном скачке температуры и образование двух распределений при отрицательном скачке температуры или медленном охлаждении. Результаты исследований показали возможность управления нуклеацией в твердом растворе с целью получения сложных распределений наночастиц новой фазы.

Ключевые слова: процессы нуклеации, твердый раствор, нанокристаллы CuCl, метод оптической спектроскопии, неизотермическая обработка.

УДК 678.067:544.723.5

Особенности связи прочность – водостойкость и аномалии кинетики массопереноса полярных жидкостей при изменении их температуры, давления и pH в конструкционных полиэфирных сферопластиках. Седлецкий Р. В. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 96–114.

Традиционные представления о кинетике поглощения полярных жидкостей и о связи с ней прочностных характеристик в конструкционных полимерных материалах не дают объяснения целому ряду физико-химических особенностей. Предложено их непротиворечивое объяснение на базе комплексной менисковой модели реверсивный массоперенос жидкостей – волнообразное изменение прочности. Показано, что высокая частота волн упрочнения/разупрочнения и быстрая деградация прочности с большой долей вероятности связаны с присутствием сложноэфирных групп в составе связующего. Установлено, что возникновение «отрицательной области» на кинетических функциях, скорее всего, обусловлено высокой дефектностью макромолекулярной структуры таких композитов, а глубина этой области и временной интервал ее существования (до сотни часов) зависят от типа полярной жидкости (вода, метанол, ацетон), ее температуры, давления и pH. Экспериментально доказано, что «отрицательная область» не связана ни с

гетерогенным растворением на поверхности композита, ни с диффузионным «выносом» полимерной субстанции из его объема.

Ключевые слова: сферопластик, мениск жидкости, реверсивный массоперенос, прочность, аппетит, границы раздела, гидростатическое давление, полиэфир.

УДК 678.067:544.723.5

Разработка режимов внутриобъемной хемосорбционной защиты от водопоглощения высоконаполненных конструкционных полимерных материалов с применением методов кинетической масс-спектрометрии. Седлецкий Р. В., Поздняков А. О. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 115–128.

Впервые к анализу на молекулярном уровне физико-химических механизмов, лежащих в основе концепции искусственного хемосорбционного блокирования процесса водопоглощения в полимерных композитах, привлечены методы кинетической масс-спектрометрии: термодесорбционный и механодесорбционный.

Для анизотропных полимерных углепластиков типа УГЭТ и ФУТ установлены:

- локализация полярных молекул (многофункциональных) защитных химических веществ (глицина, глутаровой и L-глутаминовой кислот) в объеме композитов и различия в физико-химических состояниях (энергиях связи) молекул этих соединений в материалах;
- оптимальные режимы процессов их защитной обработки;
- эффективное положительное влияние хемосорбционной защиты на термическую стабильность данных композитов;
- возрастание триботехнической стойкости к износу при трении (в 1,5–2 раза);
- зависимость износа анизотропного композита при трении от ориентации армирующих волокон относительно контртела.

Ключевые слова: углепластики, водомассоперенос, гидростатическое давление, кинетическая масс-спектрометрия, нанотехнология хемосорбционной защиты, композит, полимер.

УДК 678.067:620.198

Влияние модификации эпоксидного олигомера перфторполиэфирными жидкостями на свойства необрастающих покрытий. Анисимов А. В., Михайлова М. А., Степанова И. П., Уварова Е. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 129–134.

Три вида эпоксидных пленкообразующих с различной плотностью упаковки модифицированы перфторполиэфирными жидкостями для придания необрастающему покрытию гидрофобных свойств. Проведены испытания оценки стабильности гидрофобных свойств в искусственной морской воде (3%-ный водный раствор NaCl). Приведены результаты технологических и физико-механических сравнительных испытаний модифицированных и немодифицированных эпоксидных олигомеров.

Ключевые слова: необрастающее покрытие, эпоксидный олигомер, гидрофобные свойства, перфторполиэфирные жидкости.

УДК 621.791.053:669.15–194:621.039.536.2

Совершенствование сварочных материалов и технологии сварки кольцевых швов корпусов атомных реакторов типа ВВЭР из стали 15Х2МФА-А. Орыщенко А. С., Карзов Г. П., Галяткин С. Н., Михалёва Э. И., Ворона Р. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 135–147.

С целью совершенствования сварочных материалов и технологии сварки кольцевых швов корпусов атомных реакторов типа ВВЭР из стали 15Х2МФА-А с применением штатной проволоки Св-10ХМФТУ выполнен цикл исследовательских работ, позволивший получить комплекс служебных характеристик металла шва, близких к свойствам основного металла, существенно снизить нормативную критическую температуру хрупкости металла шва.

Ключевые слова: атомные реакторы типа ВВЭР, сварка кольцевых швов, сварочные материалы и технологии сварки, структура и свойства металла шва.

УДК 621.791.048:621.039.536.2

Исследование свойств металла шва, выполненного с использованием высокоосновного агломерированного флюса, применительно к сварке корпусов водо-водяных атомных реакторов. Тимофеев М. Н., Галяткин С. Н., Михалёва Э. И. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 148–155.

Исследованы химический состав, механические свойства и микроструктура металла шва, выполненного с использованием сварочных проволок хромомолибденованадиевой и хромоникельмолибденовой системы легирования в сочетании с плавленными и агломерированными сварочными флюсами. Установлено, что наилучшее сочетание прочностных, пластических свойств и ударной вязкости металла шва обеспечивается при использовании хромоникельмолибденовой сварочной проволоки и высокоосновного агломерированного флюса.

Ключевые слова: водо-водяные атомные реакторы, сварка корпусов, высокоосновный агломерированный флюс.

УДК 669.295:621.791–112.81:539.4

Сварка и надежность титановых морских конструкций. Леонов В. П., Михайлов В. И., Сахаров И. Ю. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 156–161.

Необходимость обеспечения надежности морских конструкций обуславливает применение применения новых сплавов с более высоким уровнем прочности. Однако более прочные материалы менее пластичны и более чувствительны к различным технологическим воздействиям при строительстве конструкций. Этот факт приводит к необходимости повышения требований по обеспечению надежности работы конструкций в эксплуатационных условиях, которая в значительной степени зависит от качества и работоспособности сварных соединений. Традиционные методы расчета прочности по номинальным напряжениям не учитывают дополнительных факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние сварных соединений (концентраторы, остаточные сварочные напряжения и др.). Для повышения надежности сварных конструкций необходима оценка не только общей, но и местной прочности сварных узлов с учетом влияния указанных факторов.

Ключевые слова: титан, морские сооружения, сварные конструкции, расчет прочности.

УДК 621.039.53:539.4

Механизмы разрушения конструкционных материалов и оценка прочности и работоспособности оборудования АЭС с реакторами различного типа. Карзов Г. П., Марголин Б. З. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 162–194.

Представлены разработанные модели и процедуры, позволяющие определять основные служебные характеристики конструкционных материалов элементов атомных реакторов в условиях длительного нейтронного облучения. Рассмотрены механизмы и критерии хрупкого и вязкого разрушения и разрушения при ползучести в условиях нейтронного облучения, а также методы прогнозирования характеристик разрушения на макроуровне на основе моделирования процессов деформирования, накопления повреждений и разрушения на разных масштабных уровнях

Ключевые слова: оборудование АЭС, конструкционные материалы, длительное нейтронное облучение, разрушение при ползучести, моделирование процессов, критерии оценки.

УДК 669.15–194.56:539.431

Исследование долговечности сталей аустенитного класса различного уровня прочности при малоцикловом нагружении. Данилов Г. И., Ильин А. В., Калинин Г. Ю., Федорова Т. А. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 195–200.

С целью предотвращения циклического разупрочнения высокопрочных азотсодержащих сталей аустенитного класса рассматриваются результаты малоцикловых испытаний сталей того же класса с различными системами легирования.

Ключевые слова: азотсодержащая сталь аустенитного класса, система легирования, циклическое разупрочнение.

УДК 669.14.018.298:621.785.52:621.833:539.4

Исследование характера и причин разрушения при эксплуатации цементованных ведущей и ведомой конических шестерен из стали 12Х2Н4А. Пугачева Н. Б., Трушина Е. Б., Антенорова Н. П., Пугачева Е. И. – Вопросы материаловедения, 2014, № 4(80), с. 201–210.

Исследованы рельеф поверхностей разрушения и микроструктура цементованных ведущей и ведомой конических шестерен из стали марки 12Х2Н4А. Показано, что более высокая степень повреждения ведомых шестерен по сравнению с ведущими обусловлена большей твердостью поверхностного слоя последних. Расширены представления о характере усталостных изломов: при наименьшей разнице между твердостью упрочненного поверхностного слоя и сердцевины зуба возможно локальное развитие усталостных трещин с последующим ускоренным разрушением зуба с образованием шиферного излома. Присутствие большого количества карбидов в цементованных слоях способствует ускоренному зарождению питтингов и росту усталостных трещин.

Ключевые слова: шестерни, сталь, цементация, твердость, микроструктура, питтинг, фрактография, трение, усталость.